



Modifications structurales (assemblage élémentaire) liées à l'activité racinaire au sein de sols limono-argileux

Ary Bruand, Saleck Ould Mohammed, Marcello Pagliai, Jean-Claude Begon

► To cite this version:

Ary Bruand, Saleck Ould Mohammed, Marcello Pagliai, Jean-Claude Begon. Modifications structurales (assemblage élémentaire) liées à l'activité racinaire au sein de sols limono-argileux. Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série IIa, Sciences de la terre et des planètes, 1992, 315, pp.757-764. insu-00862447

HAL Id: insu-00862447

<https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu-00862447>

Submitted on 16 Sep 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modifications structurales (assemblage élémentaire) liées à l'activité racinaire au sein de sols limono-argileux

Ary BRUAND, Saleck OULD MOHAMED, Marcello PAGLIAI et Jean-Claude BEGON

Résumé — Le mode d'assemblage des particules élémentaires de sol est étudié en microscopie électronique à balayage à partir des électrons rétrodiffusés. L'analyse des images montre que cet assemblage a été modifié à la périphérie de pores qui sont interprétés comme étant d'origine racinaire. Cette modification de l'assemblage concerne la porosité lacunaire qui est diminuée du tiers. Les résultats indiquent en outre que les pores autour desquels l'assemblage est modifié, se sont différenciés au sein d'un fond matriciel plus poreux que celui les environnant actuellement.

Groundmass fabric changes due to root activity in clayey-loam soils

Abstract — The groundmass porosity was studied in scanning electron microscopy by using the back-scattered electrons. The image analysis showed the groundmass fabric as altered around pores owing to root activity. This alteration of the groundmass fabric concerns the lacunar porosity which was decreased by a third around the studied pores. The results showed that the latter differentiated themselves within a groundmass fabric more porous than the one currently surrounding them.

Abridged English Version — I. INTRODUCTION. — The work done on the fabric of elementary soil particles (groundmass fabric or elementary fabric) showed that it is related to particle size distribution ([1], [2]). That groundmass fabric is also related to the chronological account of hydric and mechanical stresses ([3] to [6]), but they do not affect significantly the groundmass fabric for the loamy, the clayey-loam and loamy-clay materials, unlike the other materials [7]. The aim of this study is to show that root activity strongly modifies the groundmass fabric of clayey-loam materials.

II. MATERIAL AND METHODS. — An undisturbed sample was collected from the B horizon of a Cambisol developed within the clayey-loam formation of the Beauce ([8], [9]). The physico-chemical characteristics are given in Table I. After an oven drying at 40°C for a week, the sample was impregnated with a polyester resin diluted with 30% of styrene monomer under a depression of 5 kPa. A small block was polished with abrasive grains of decreasing size down to 0.25 µm. The polished surface was observed in scanning electron microscopy by using the back-scattered electrons ([10], [11], [12]). This technique gives pictures with a high contrast between the mineral phase and the pores occupied by resin. The image analysis was made with a Quantimet 570 ([13] to [16]).

III. RESULTS AND DISCUSSION. — The observation of the groundmass fabric in scanning electron microscopy shows the presence of lacunar pores which result from the packing of silt particles with the porous clay fraction ([2], [17]) (Fig. 1a). The groundmass fabric does not vary significantly for the studied surface, except around sub-circular pores (from 100 to 400 µm in diameter) where the packing of silt particles and the clay phase is closer than for the groundmass.

A quantitative analysis of the lacunar porosity was done in order to characterize the porosity variations between the groundmass fabric and the close fabric around the pores. Two representative pores A and B were selected (Fig. 1, b and c). Three types of area were distinguished: (i) the pore studied (zone 1), (ii) the zone with the close fabric around this pore (zone 2) and (iii) the groundmass fabric (zone 3). The variation of the

Note présentée par Georges PÉDRO.

lacunar porosity was studied by analysing the porosity of successive and adjacent elementary fields of 10 by 60 μm up to 120 μm far from the pore wall (*Fig. 2, a*). The boundary between the zones 2 and 3 is estimated at 60 μm away from the pore wall (*Figs. 2, b and c*). The lacunar porosity ranges from 11 to 25% and from 25 to 37% within the zones 2 and 3, respectively.

Then, the lacunar porosity was studied around the whole of the pore. The width of the ring analysed was 180 μm and the boundary between the zones 2 and 3 was located at 60 μm far from the pore wall. The lacunar porosity within the zone 2 is 17.4 and 21.8% for pores A and B, respectively, instead of 29.3 and 31.8% for their respective groundmass fabric.

The results from image analysis were also used in order to discuss if pores A and B could result from the compaction of a groundmass fabric identical to the groundmass fabric in zone 3. That hypothesis is discussed by comparing the present porosity of the zone corresponding to the zones 1 and 2 (that porosity is calculated by reporting the sum of the area due to the lacunar porosity in zone 2 and the area to the zone 1, to the whole area of zones 1 and 2) to lacunar porosity of the groundmass porosity in zone 3. The porosity calculated in that way for zones 1 and 2 is 38.5% for pore A and 54.8% for pore B. These values are much higher than the lacunar porosity for the respective groundmass fabrics. Thus, the porosity was higher before the differentiation of the pores A and B within the zone corresponding to the present zones 1 and 2.

Because of both their morphology and size, pores A and B would result from root activity ([18], [19], [20]). That origin is consistent with the fact that compaction of the groundmass fabric requires the extraction of water during compaction because of the water saturation of the groundmass porosity in a large range of matric water potential. As for the higher porosity within the zone which corresponded to the present zones 1 and 2, it would indicate a prevailing growth of the root where the groundmass fabric is less close. Thus, the root would grow preferentially where the strength is the lowest and where the air permeability is the highest, which is consistent with the conditions in favour of root growth ([18], [20]).

The compaction of the soil fabric near the roots has been studied earlier ([18], [19], [22], [23]). Nevertheless, the values of compaction shown in this study are much higher than the ones published [19]. By using a bulk density of 2.43 g/cm^3 for the porous clay fraction [17], and by assuming the particle density as 2.65 g/cm^3 , the bulk density of the groundmass fabric (zone 3) is 1.83 g/cm^3 for pore A and 1.76 g/cm^3 for pore B. For the compacted fabric surrounding the pore (zone 2), the bulk density is 2.13 g/cm^3 for pore A and 2.02 g/cm^3 for pore B.

IV. CONCLUSION. — The results presented in this study show the presence of a compacted fabric of the silt particles and the clay phase around pores which result from the root activity. This porosity reduction consists of a decrease of a third of the lacunar porosity in comparison with the lacunar porosity of the groundmass fabric. This compacted fabric should induce physico-chemical conditions around the root which are highly different from the ones within the groundmass fabric.

I. INTRODUCTION. — Les études effectuées sur le mode d'assemblage des particules élémentaires dans un sol ont montré qu'il est en partie déterminé par la distribution de taille des particules ([1], [2]). Ce mode d'assemblage, et la porosité qui en résulte, varient aussi en fonction de l'histoire des contraintes mécaniques et hydriques. C'est pour les

matériaux sableux et sablo-argileux que l'histoire des contraintes mécaniques a la plus forte influence en raison de la faible cohésion des assemblages ([3], [4]). Pour les matériaux argileux, c'est l'histoire des contraintes hydriques qui détermine les principaux caractères de la géométrie des assemblages élémentaires ([5], [6]). En revanche, les contraintes mécaniques et hydriques apparaissent n'avoir qu'une influence limitée sur le mode d'assemblage des particules élémentaires dans les matériaux limoneux, limono-argileux et argilo-limoneux [7]. L'objectif de cette Note est de montrer que, même pour de tels matériaux, le mode d'assemblage des particules élémentaires peut être notablement modifié localement sous l'influence de l'activité racinaire.

II. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE. — Un échantillon non perturbé d'environ $0,25 \text{ dm}^3$ a été prélevé dans l'horizon B d'un sol brun lessivé développé dans les limons argileux de l'Ouest de la Beauce (région de Bricy) ([8], [9]). Les caractéristiques de cet échantillon sont présentées dans le tableau I.

Après avoir été séché à 40°C dans une étuve pendant 1 semaine, l'échantillon a été inclus dans une résine polyester diluée avec 30 % de styrène monomère sous un vide relatif de 5 kPa. Après polymérisation, une plaquette de $2 \times 3 \text{ cm}$ de côté et de 1 cm d'épaisseur a été taillée. L'une des deux plus grandes surfaces a été polie à l'aide d'abrasifs en poudre appliqués avec un aérosol sur des draps de polissage. La taille de grain minimale employée a été de $0,25 \mu\text{m}$. La surface polie a été étudiée en microscopie électronique à balayage à l'aide des électrons rétrodiffusés ([10], [11], [12]). Cette technique permet d'obtenir des images de la surface avec des contrastes élevés entre la phase minérale et les vides occupés par de la résine. L'analyse des images obtenues a été effectuée par la suite à l'aide d'un Quantimet 570 ([13] à [16]). Pour ce faire, chaque image a été décomposée en 260×100 pixels (256 niveaux de gris possibles) de $0,17 \mu\text{m}$.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION. — (1) Les observations réalisées en microscopie électronique à balayage à l'aide des électrons rétrodiffusés montrent la présence, au sein du fond matriciel, de pores de type lacune; ceux-ci résultent de l'assemblage de la phase argileuse poreuse avec les particules de la taille des limons ([2], [17]) (*fig. 1, a*). L'observation de ce type de pore sur l'ensemble de la surface étudiée indique que leur proportion et leur morphologie varient peu au sein du fond matriciel, excepté à la périphérie de pores de section subcirculaire et de 100 à $400 \mu\text{m}$ de diamètre où l'assemblage apparaît plus compact sans que la distribution de taille des particules ne soit modifiée.

(2) Une analyse quantitative de la porosité a été réalisée de façon à caractériser les différences de porosité entre le fond matriciel et ces zones plus compactes. La porosité que nous analysons ici est celle de type lacune; la porosité interne à la phase argileuse sera considérée comme étant constante. Deux pores A et B représentatifs des différentes morphologies observées ont été sélectionnés dans cette étude (*fig. 1, b et c*). [Les pores de forme circulaire (pore A) correspondraient à un plan de section perpendiculaire à la racine, alors que ceux de forme elliptique (pore B) correspondraient à un plan de section oblique.] Pour les pores A et B, nous distinguons le pore proprement dit (zone 1), une première zone en forme de couronne autour du pore (zone 2) où l'assemblage est plus compact que dans le fond matriciel et une seconde zone en forme de couronne (zone 3), plus extérieure que la première où l'assemblage est du même type que pour l'ensemble du fond matriciel. A ce stade de l'étude, nous ne pouvons pas encore placer avec précision la limite entre les zones 2 et 3. Nous avons donc dans un premier temps procédé à une analyse des variations de la porosité, lorsque l'on s'éloigne de la limite des pores A et B

TABLEAU I

Caractéristiques physiques et physico-chimiques de l'échantillon.

Physical and physico-chemical characteristics of the sample.

Densité apparente	Granulométrie (%)					CaCO ₃ (g/100 g)	pH	Carbone organique (g/100 g)	Capacité d'échange cationique (mécq/100 g)
	<2 μm	2- 20 μm	20- 50 μm	50- 200 μm	200- 2000 μm				
1,44	29,2	32,4	35,7	1,9	0,8	0,6	8,1	0,9	20,1

en direction de leurs fonds matriciels respectifs, c'est-à-dire lorsque l'on traverse la zone 2 puis la zone 3. Pour ce faire, nous avons analysé la porosité de champs successifs, contigus et de $60 \times 10 \mu\text{m}$ de côté (*fig. 2, a*). Les résultats montrent clairement que la porosité est plus faible au voisinage des pores A et B, comparée à ce qu'elle est lorsque l'on en est éloigné (*fig. 2, b et c*). Pour les pores A et B, la limite entre les zones 2 et 3 est estimée être à une soixantaine de microns de distance de la limite du pore. Dans les champs de $600 \mu\text{m}^2$ qui ont été analysés, la porosité de type lacune varie de 11 à 25 % dans la zone 2, et de 25 à 37 % dans la zone 3.

(3) Pour les deux pores A et B étudiés, nous avons ensuite analysé la porosité autour de l'ensemble de chacun de ces pores, c'est-à-dire dans une couronne de $180 \mu\text{m}$ de large, de façon à ne pas prendre en compte des pores qui ne résulteraient pas de l'assemblage des particules élémentaires. La limite entre les zones 2 et 3 a été fixée à $60 \mu\text{m}$ de distance de la limite du pore. Les résultats de cette analyse confirment la présence d'un assemblage des particules élémentaires plus compact à la périphérie des pores A et B, et sur une largeur d'une soixantaine de microns (tableau II). La porosité de type lacune est respectivement de 17,4 et de 21,8 % autour des pores A et B, alors qu'elle est de 29,3 et 31,8 % pour leurs fonds matriciels respectifs.

(4) Nous avons ensuite cherché à déterminer dans quelle mesure les pores A et B étudiés pouvaient résulter de la seule réorganisation locale du fond matriciel. Dans ce cas, la création de chacun de ces pores serait compensée par une diminution de la porosité de type lacune à leur périphérie. Cette hypothèse peut être aisément vérifiée; il suffit pour cela de calculer la porosité globale de la zone correspondant aux zones 1 et 2 (surface occupée par les pores de type lacune dans la zone 2 et surface de la zone 1 rapportées à l'ensemble de la surface des zones 1 et 2). Lors de ce calcul, il n'est pas tenu compte comme précédemment de la porosité développée par la phase argileuse, puisque l'on admet que le fond matriciel s'est réorganisé sans que celle-ci ne soit modifiée. La porosité calculée pour l'ensemble des zones 1 et 2 est alors de 38,5 % pour le pore A et de 54,8 % pour le pore B. Ces valeurs sont très supérieures aux valeurs de porosité pour les fonds matriciels correspondants (29,3 % pour le pore A et 31,8 % pour le pore B). L'hypothèse selon laquelle les pores se seraient développés au sein d'un fond matriciel identique à celui étudié dans la zone 3 doit être, par voie de conséquence, rejetée.

(5) La morphologie et la taille des pores autour desquels le mode d'assemblage des particules élémentaires est modifié indiquent qu'il s'agirait de pores résultant de l'activité racinaire ([18], [19], [20]); des modifications de l'assemblage élémentaire ont d'ailleurs déjà été observées au sein de pâtes argileuses à la périphérie de racines et de poils absorbants [21]. La validité de cette interprétation est aussi renforcée par le fait que la diminution de porosité sous l'effet d'une contrainte mécanique n'a pu vraisemblablement

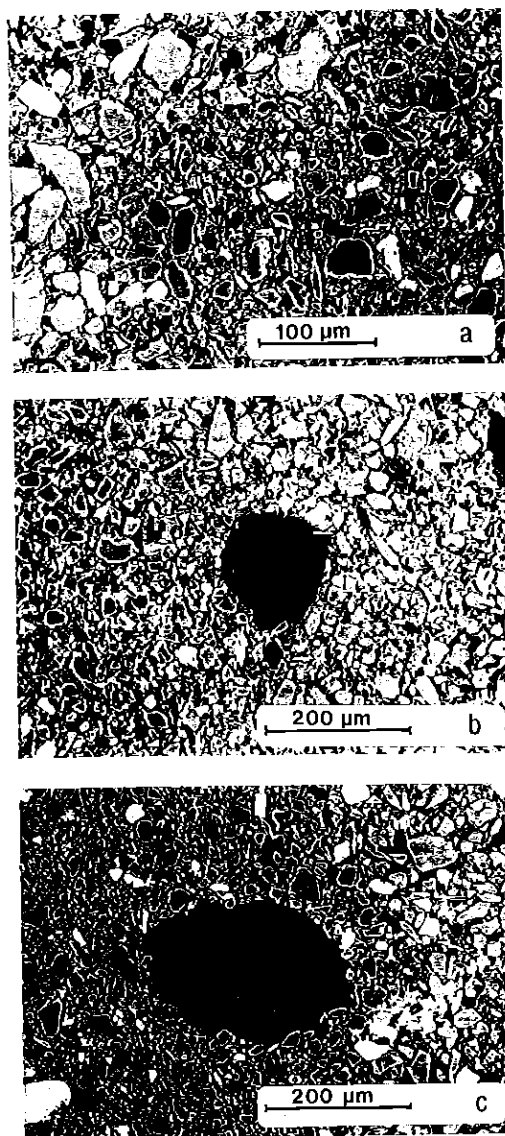


Fig. 1. — Mode d'assemblage au sein du fond matriciel entre la phase argileuse et les particules de la taille des limons (électrons rétrodiffusés, $\times 160$, 15 kV, les pores sont en noir et la phase minérale en gris) : organisation d'ensemble du fond matriciel (a), organisation du fond matriciel à la périphérie du pore A de section circulaire (b) et du pore B de section en forme d'ellipse (c).

Fig. 1. — Matrix fabric showing the assemblage of the clay phase with the silt particles (back-scattered electrons, $\times 160$, 15 kV, the pores and the mineral phase are black and grey, respectively): general matrix fabric (a) and differentiation around the circular pore A (b) and around the ellipse-shaped pore B (c).

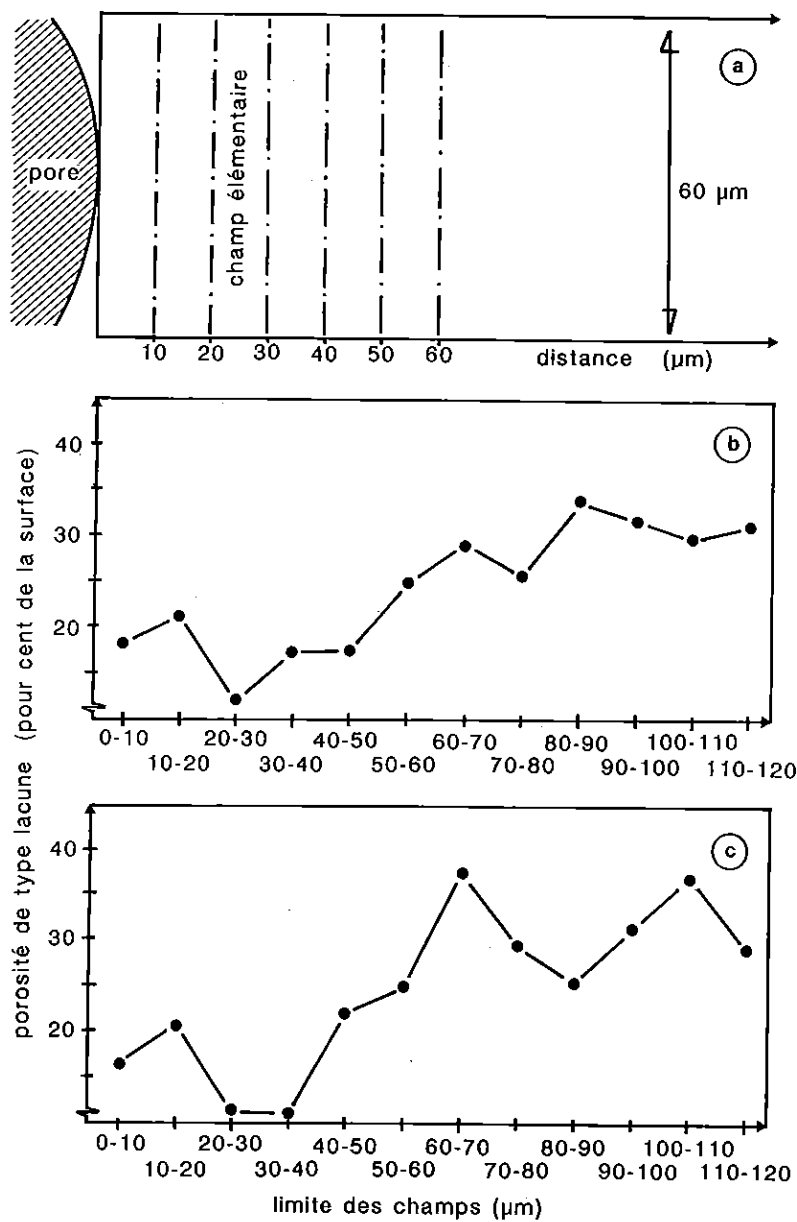


Fig. 2. — Représentation schématique de la méthode d'analyse permettant d'étudier l'évolution de la porosité de type lacune lorsqu'on s'éloigne des pores A et B (a) et variation de la porosité de type lacune en fonction de la distance aux pores A (b) et B (c).

Fig. 2. — Schematic representation of the method allowing the lacunar pore variation to be studied from the pore wall for the pores A and B (a) and lacunar porosity variations from the pore wall for the pores A (b) and B (c).

TABLEAU II

Aire des surfaces analysées dans les zones 1, 2 et 3 et porosité correspondante.
Area of the analysed surfaces within the zones 1, 2 and 3 and corresponding porosity.

	Aire de la surface analysée (μm^2)	Aire de la surface occupée par les pores (μm^2)	Porosité (%)
Pore A :			
zone 1.....	17 783	17 783	100
zone 2.....	50 831	8 845	17,4
zone 3.....	166 581	48 758	29,3
Pore B :			
zone 1.....	45 514	46 514	100
zone 2.....	63 721	13 891	21,8
zone 3.....	166 581	52 973	31,8

se produire que simultanément à une extraction d'eau, la porosité du fond matriciel du matériau étudié étant saturée par de l'eau dans une très large gamme de valeur de potentiel matriciel.

La porosité plus élevée dans l'ensemble de la zone correspondant aux zones 2 et 3 comparée à ce qu'elle est dans le fond matriciel indique que la croissance des racines se ferait selon un trajet privilégiant les endroits où le fond matriciel est le plus poreux. Par conséquent, la croissance des racines se ferait là où le fond matriciel offre la plus faible résistance mécanique et les meilleures conditions d'aération, ce qui est tout à fait en accord avec ce que l'on sait des conditions favorisant la croissance racinaire ([18], [20]).

La diminution de la porosité au voisinage des racines a été mentionnée par plusieurs auteurs ([18], [19], [22], [23]). Nous avons calculé les valeurs de masse volumique correspondant aux zones 2 et 3. A cet effet, nous avons tout d'abord attribué à la phase argileuse poreuse une masse volumique de $2,43 \text{ g/cm}^3$. Cette valeur a été obtenue pour la phase argileuse d'un autre sol limoneux du Bassin Parisien [17]. Puis, en utilisant les caractéristiques de la constitution granulométrique (tableau I) et une masse volumique de $2,65 \text{ g/cm}^3$ pour les particules de taille supérieure à $2 \mu\text{m}$, nous avons calculé que la masse volumique de la phase minérale en y incluant la porosité de l'argile est alors de $2,58 \text{ g/cm}^3$.

Enfin, en utilisant les résultats de l'analyse d'image pour les zones 2 et 3 (tableau II), nous avons calculé les masses volumiques de l'assemblage élémentaire dans ces deux zones. La masse volumique ainsi calculée pour l'assemblage dans la zone 3 est de $1,83 \text{ g/cm}^3$ pour le pore A et de $1,76 \text{ g/cm}^3$ pour le pore B. Dans la zone 2, c'est-à-dire dans la zone compactée, la masse volumique est $2,13 \text{ g/cm}^3$ à la périphérie du pore A et de $2,02 \text{ g/cm}^3$ à la périphérie du pore B. Une telle augmentation de masse volumique autour des pores A et B est très supérieure aux valeurs publiées pour des sols de texture limono-argileuse et argilo-limoneuse [19]. Néanmoins, ces derniers résultats ont été obtenus sur des échantillons dont une fraction du volume seulement avait été compactée par les racines. Ceci expliquerait que la diminution de porosité enregistrée soit inférieure à celle que nous avons observée.

IV. CONCLUSION. — L'assemblage élémentaire entre les particules de la taille des limons et la phase argileuse est considéré comme étant peu sensible aux contraintes mécaniques

et hydriques dans les matériaux limoneux. Or, les résultats présentés dans cette Note montrent clairement que cet assemblage élémentaire est compacté à la périphérie de pores qui sont, selon toute vraisemblance, d'origine racinaire. Dans la zone compactée, la porosité de type lacune est alors réduite du tiers par les contraintes hydriques et mécaniques qui s'exercent sur le sol lors de la croissance racinaire. La diminution de porosité de type lacune ne concerne qu'un volume limité autour des pores, mais il est important de noter qu'elle suffit à modifier largement les conditions physico-chimiques de l'environnement racinaire par rapport à celles régnant au sein du fond matriciel.

Note remise le 26 mai 1992, acceptée après révision le 25 juin 1992.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] J. C. FIÈS, *Ann. Agron.*, 22, (6), 1971, p. 621-653.
- [2] J. C. FIÈS, *Agronomie*, 4, (9), 1984, p. 891-899.
- [3] E. COULON et A. BRUAND, *Soil Tillage Res.*, 15, 1989, p. 137-182.
- [4] J. C. FIÈS et D. ZIMMER, *Bull. G.F.H.N.*, 12, 1982, p. 39-55.
- [5] D. TESSIER, Étude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux. Hydratation, gonflement et structuration lors de la dessiccation et de la réhumectation, *Thèse Sc.*, Paris-VII, 1984, 361 p.
- [6] A. BRUAND et R. PROST, *J. Soil Sci.*, 38, 1987, p. 461-472.
- [7] J. C. FIÈS et P. STENGEL, *Agronomie*, 1, (8), 1981, p. 659-666.
- [8] D. ARROUAYS, O. DUVAL et B. RENAUX, Esquisse des paysages pédologiques du Loiret. *Notice explicative de la carte pédologique du Loiret au 1/250 000*, S.E.S.C.P.F., Orléans, 1989, 185 p.
- [9] S. OULD MOHAMED, D.E.A. Pédologie, Nancy-I, 1991, 53 p.
- [10] K. PYE et D. H. KRINSLEY, *J. Sedim. Petrol.*, 54, (3), 1983, p. 877-888.
- [11] J. CHRÉTIEN et E. B. A. BISDOM, *Geoderma*, 30, 1983, p. 285-302.
- [12] G. E. LLOYD, *Mineral. Mag.*, 51, 1987, p. 3-19.
- [13] A. JONGERUS et E. B. A. BISDOM, In: E. B. A. BISDOM éd., *Submicroscopy of soils and weathered rocks*, Pudoc, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 1981, p. 207-216.
- [14] M. PAGLIAI, M. LA MARCA, G. LUCAMANTE et L. GENOVESE, *Soil Tillage Res.*, 4, 1984, p. 433-444.
- [15] M. PAGLIAI, M. LA MARCA et G. LUCAMANTE, *J. Soil Sci.*, 1983, 34, p. 391-403.
- [16] A. J. RINGROSE-VOASE et P. BULLOCK, *J. Soil Sci.*, 1984, p. 673-684.
- [17] J. C. FIÈS et A. BRUAND, *Geoderma*, 47, 1990, p. 209-219.
- [18] G. CALLOT, H. CHAMAYOU, C. MAERTENS et L. SALSAC, *Mieux comprendre les interactions sol-racine, incidence sur la nutrition minérale*, I.N.R.A., Paris, 1982, 325 p.
- [19] M. J. GOSS, *Proceedings of the workshop on soil compaction: Consequences and structural regeneration processes*, Avignon, 17-18 septembre 1985, G. MONNIER et M. J. GOSS éd., Balkema Pub., Rotterdam, Boston, 1987, p. 145-185.
- [20] F. TARDIEU, in : *La structure du sol et son évolution*, Laon, 9 janvier 1990, I.N.R.A., Paris, 1990, p. 91-109.
- [21] J. M. DORIOZ et M. ROBERT, *Actes de la VI^e Réunion internationale de Micromorphologie des Sols*, N. FEDOROFF, L. M. BRESSON et M. A. COURTY éd., A.F.E.S., Paris, juillet 1985, 1987, p. 353-361.
- [22] G. GUIDI, G. POGGIO et G. PETRUZZELLI, *Plant and Soil*, 87, 1985, p. 311-314.
- [23] R. L. BLEVINS, K. N. HOLOWAYCHU et L. P. WILDING, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34, 1970, p. 460-465.

A. B., S. O. M. et J.-C. B. : *Service d'Étude des Sols et de la Carte pédologique de France*,
I.N.R.A., Ardon, 45160 Olivet;

M. P. : *Istituto per la Chimica del Terreno, C.N.R., Via Corridoni, 78, 56100 Pisa, Italie.*